

УДК 624

Замалиев Ф.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: zamaliiev49@mail.ru

Казанский государственный архитектурно - строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

К расчету сталежелезобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом

Аннотация

Проанализирован отечественный опыт восстановления перекрытий старинных зданий. Дана оценка опыта применения сталежелезобетонных конструкций перекрытий и методов их расчета. Рассмотрены конструктивные данные сталежелезобетонного перекрытия со стальным профнастилом. Предложено использовать деформационную модель расчета, основанную на аналитических и трансформированных диаграммах работы материалов. Представлены выражения для определения положения нейтральной оси и внутренних моментов. Применение усовершенствованной методики расчета сталежелезобетонных перекрытий по профилированному стальному настилу будет способствовать внедрению этих конструкций в практику реконструкции и нового строительства.

Ключевые слова: сталежелезобетонное перекрытие, стальной профнастил, методика расчета, деформационная модель.

В старинных зданиях, в основном являющимися памятниками архитектуры, при реставрации и реконструкции помимо воссоздания архитектурного облика здания, необходимо обеспечить конструктивную его целостность, восстанавливая работоспособность несущих элементов, начиная от фундамента и завершая конструкциями покрытия. Конструкции перекрытий и покрытий в старинных зданиях в нашей стране выполнялись в основном в деревянном исполнении, за редким исключением в нижних и подвальных этажах, где использовались либо сводчатые кирпичные массивные перекрытия, либо набор цилиндрических кирпичных (бетонных) сводов по стальным рельсам или двутаврам.

При реконструкции старинных зданий восстановление работоспособности перекрытия становится одним из главных вопросов, т.к. деревянные перекрытия этих зданий из-за истечения значительного срока службы потеряли свою несущую способность [1], либо надзорные органы требуют их полной замены на конструкцию перекрытия из материалов, отвечающих повышенным требованиям по их пожаробезопасности [2]. Проектировщики свой выбор останавливают либо на монолитных железобетонных ребристых перекрытиях, либо на перекрытиях по стальным балкам [3].

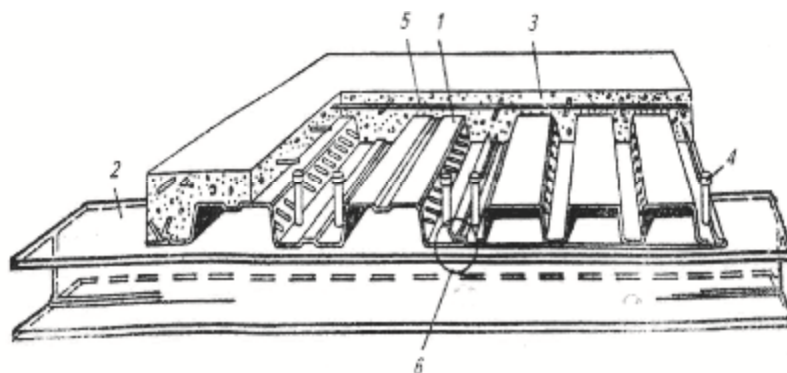
При устройстве монолитного железобетона и перекрытий по стальным балкам необходимо сооружать систему опалубки. В первом случае кроме опалубки необходимо еще смонтировать систему поддерживающих лесов, а во втором случае можно обойтись без них, передавая монтажную нагрузку от опалубки и свежесушеного бетона на стальные балки.

При устройстве опалубки встает также вопрос какая опалубка предпочтительнее. Проектировщики сегодня очень часто используют в качестве несъемной опалубки стальной профилированный настил (СПН). Преимуществом применения СПН является также его использование в роли рабочей арматуры [4], однако применение СПН в помещениях перекрытий с повышенным влажностно-температурным режимом ограничено (зона санузлов жилых зданий, прачечные и плавательные бассейны на технических этажах или в отдельно стоящих зданиях). Основным несущим элементом восстанавливаемого перекрытия является стальная балка, чаще двутаврового сечения, устанавливаемая в те же «лунки», где ранее были деревянные балки круглого сечения в реконструируемом здании. По ним укладывается стальной профилированный настил, через заранее подготовленные отверстия привариваются анкерные стержни и «заливается» монолитным бетоном [5]. В верхней зоне часто укладывают противоусадочные сетки или

рабочую арматуру над стальной балкой. В качестве СПН рекомендуют использовать профилированные настилы с рифлами (рифлеными стенками и полкой) [6].

Конструкции междуэтажных перекрытий со СПН (рис. 1) широко используются в экономически развитых странах мира [5]. Из анализа технической литературы исходит, что начали их использовать в перекрытиях в 50 годах XX столетия во Франции и США.

Специалисты из отдела ЛСТК ООО «ЦНИИПСК» им. Мельникова считают «наиболее эффективная область их применения – многоэтажные жилые и административные здания со стальным каркасом в труднодоступных и сейсмических районах» [5]. Однако такие перекрытия успешно применяются и при восстановлении старинных зданий. Возможно широкому их применению как в развитых странах мира и в многоэтажных зданиях со стальным каркасом препятствуют отсутствие норм проектирования и методик расчета, учитывающих действительную работу составляющих элементов сталежелезобетонного перекрытия со СПН.



1 – стальной профилированный настил с рифлеными стенками гофров; 2 – элемент балочной клетки; 3 – монолитный бетон перекрытия; 4 – стержневой анкер; 5 – сетка противосадочного армирования; 6 – соединение гофрированных профилей между собой

Рис. 1. Сталежелезобетонное перекрытие со стальным профнастилом

Существующие стандарты организаций СТО 0047-2005 «Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по СПН» и рекомендации по проектированию сталежелезобетонных плит [6] в расчетных формулах используют модель расчета на основе прямоугольной эпюры напряжений, что не отражает фактическое напряженно-деформированное состояние и зачастую приводит к завышению несущей способности сталежелезобетонного элемента. Еврокод 4 [7], используемый многими проектными организациями, в расчетных формулах также опирается на прямоугольные эпюры напряжений составляющих материалов.

Таким образом, существующие нормы проектирования и методы расчета вступают в противоречие с фактической работой сталежелезобетонного перекрытия со СПН и не в состоянии учитывать специфику работы сталежелезобетонного перекрытия со СПН.

Наиболее перспективной является методика, базирующаяся на расчетной модели, отражающей действительную работу составной конструкции и учитывающая реальные эпюры деформаций и напряжений составляющих изгибаемого элемента материалов.

При расчете составного сечения важным является учет податливости контакта слоев. В сталежелезобетонных перекрытиях с использованием стального профилированного настила, сдвиг слоев может произойти как на контакте «бетон-СПН», так и по стыку «плита-стальная балка» из-за деформативности гибких анкерных стержней (рис. 2). Для простоты записей будем учитывать общий сдвиг плиты относительно стальной балки (сдвиг «бетон-СПН-стальная балка»).

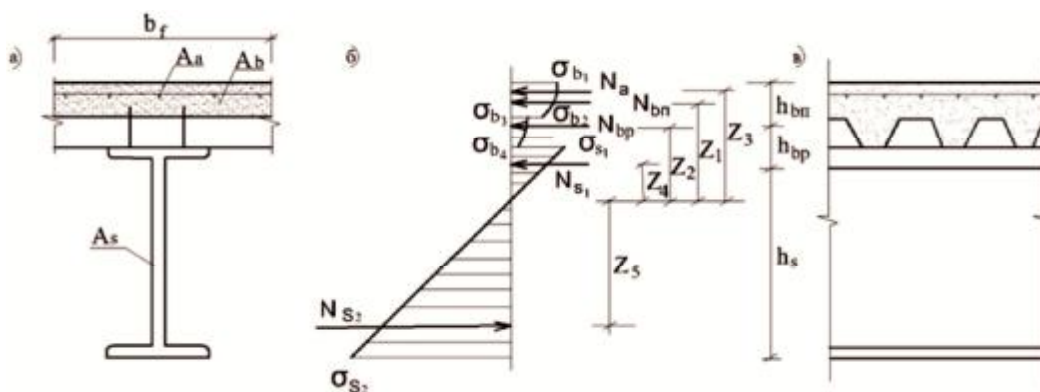


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонного сечения со стальным профнастилом: а) поперечное сечение; б) эпюра напряжений и схема внутренних усилий; в) фрагмент элемента вдоль балки

Величина относительных деформаций сдвига из условия совместности деформаций в уровне контактной плоскости (рис. 3):

$$e_{sh} = e_{b,\text{don}}^H + e_{s,\text{don}}^G, \tag{1}$$

где $e_{b,\text{don}}^H$, $e_{s,\text{don}}^G$ – соответственно, дополнительные относительные деформации бетона и стали в плоскости контакта «сталь-бетон» при проявлении деформаций сдвига между соответствующими слоями.

Из равенства кривизны полки и стальной балки сталежелезобетонного сечения следует:

$$e_{b,\text{don}}^H \cdot y_s^G = e_{s,\text{don}}^G \cdot y_b^H, \tag{2}$$

что позволяет определять дополнительные относительные деформации нижних волокон полки и верхних волокон стальной балки следующим образом:

$$e_{s,\text{don}}^G = \frac{e_{sh} \cdot y_s^G}{y_s^G + y_b^H}; e_{b,\text{don}}^H = \frac{e_{sh} \cdot y_b^H}{y_b^H + y_s^G}. \tag{3}$$

С учётом справедливости гипотезы плоских сечений дополнительные относительные деформации $e_{s,\text{don}}^H$ нижних волокон стальной балки и верхних волокон железобетонной полки композиционного сечения равны:

$$e_{s,\text{don}}^H = \frac{e_{sh} \cdot y_s^H}{y_s^H + y_b^G}; e_{b,\text{don}}^G = \frac{e_{sh} \cdot y_b^G}{y_b^G + y_s^H}. \tag{4}$$

Таким образом, относительные деформации материалов в характерных уровнях высоты сталежелезобетонного сечения определяются по формулам:

$$e_b^G = e_{bo}(x) + e_{b,\text{don}}^G; e_b^H = e_{bo}(x) - e_{b,\text{don}}^H, \tag{5}$$

$$e_s^G = e_{so}(x) + e_{s,\text{don}}^G; e_s^H = e_{so}(x) + e_{s,\text{don}}^H. \tag{6}$$

Исходя из гипотезы плоских сечений и трансформированных диаграмм зависимостей «напряжение – деформация» бетона и стали по аналогии с ранее записанными выражениями для сталежелезобетонного элемента, состоящего из стальной балки и железобетонной плиты без профнастила [8] и [9], запишем выражение для определения положения нейтральной оси в изгибаемом элементе со СПН:

$$N_x = N_{bn} + N_{bp} + N'_a + N_{s1} - N_{s2} = 0 \tag{7}$$

или

$$N_x = \int_{h_n}^{h_f} s_b [e_b(x) + \Delta e] b_f dx + \int_0^{h_n} s_b [e_b(x) + \Delta e] b_f dx + s_a (e_a + \Delta e) A_a + s_{s1} (e'_s - \Delta e) A_{s1} - s_{s2} (e_s + \Delta e) A_{s2} \tag{7a}$$

где, $\sigma_b(\epsilon_b)$, $\sigma_s(\epsilon_s)$ – зависимости «напряжение-деформация» бетона и стали;

ϵ_b , ϵ_s – относительные деформации бетона и стали по высоте сечения;

Δe – относительная величина деформаций податливости контакта;

b_f – ширина сечения бетонной плиты;

A_a, A_{s1}, A_{s2} – площади сечения арматуры, верхней и нижней частей стального профиля.

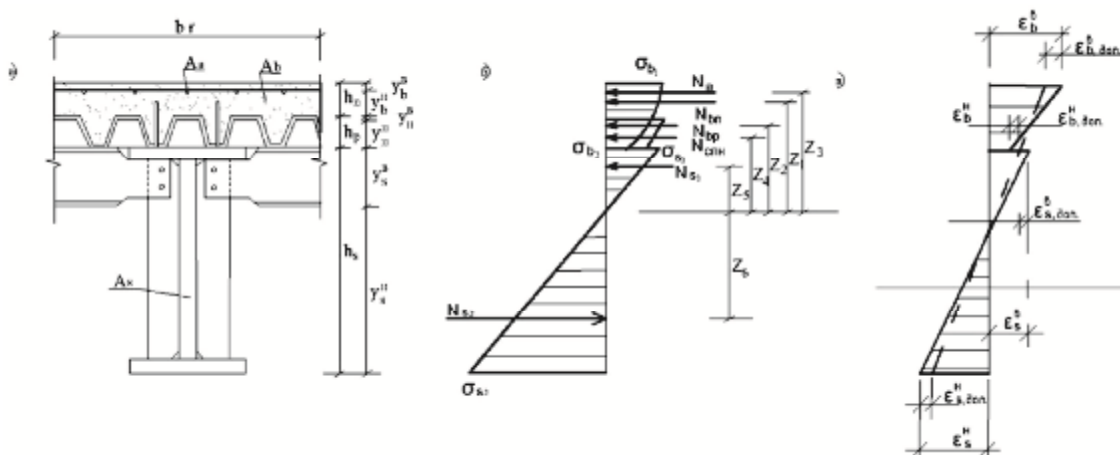


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние составного сечения с главной балкой:
 а) сечение главной балки с узлом сопряжения балки настила;
 б) эпюра напряжений и схема внутренних усилий; в) эпюра относительных деформаций

Методом последовательных приближений (итерации) по формуле (7а) рассчитывают высоту сжатой зоны «X» (до выполнения условия $\Delta N_x \leq k$, k – заданная точность вычислений).

Уравнение внутренних изгибающих моментов запишется в следующем виде:

$$M_z = N_{bn}Z_1 + N_{bp}Z_2 + N'_aZ_3 + N'_{s1}Z_4 + N_{s2}Z_5, \tag{8}$$

где, $Z_1, Z_2 \dots Z_5$ – плечо соответствующего внутреннего усилия (рис. 2).

При больших расстояниях между несущими стенками реконструируемого здания в восстанавливаемом перекрытии может быть устроена балочная клетка по классической схеме с укладкой стального профнастила по балкам настила, тогда гофры профнастила будут ориентированы вдоль главных балок (рис. 3). Напряженно-деформированное состояние составной балки, состоящей из главной балки, профнастила и бетона запишется в следующем виде:

$$N_x = N_{bn} + N_{bp} + N_{СПН} + N'_a + N'_s - N_s, \tag{9}$$

$$N_x = \int_{h_n}^{h_f} s_{bn} [e_b(x) + \Delta e] b_f dx + \int_0^{h_k} s_{bp} [e_b(x) + \Delta e] b_f dx + s_a (e_a + \Delta e) A_a + s_{СПН} (e_s + \Delta e) A_{СПН} + s_{s1} (e'_s - \Delta e) A_{s1} - s_{s2} (e_s + \Delta e) A_{s2}. \tag{9a}$$

Положение границы сжатой зоны «X» по формуле (9а) определяется аналогично как и в предыдущем случае. Уравнение в моментах для данного расчетного сечения запишется в следующем виде:

$$M_z = N_{bn}Z_1 + N_{br}Z_2 + N_{СПН}Z_3 + N'_aZ_4 + N'_{ap}Z_5 + N_{pr}Z_6, \tag{10}$$

где N_i – внутренние усилия от напряжений соответствующего слоя составного сечения; $Z_{i(1-6)}$ – плечо соответствующего внутреннего усилия.

Прочность сталежелезобетонной конструкции со стальным профнастилом как для первого, так и для второго расчетного сечения на всех стадиях нагружения оценивается исходя из условия:

$$M_i \leq M_z,$$

где M_i – изгибающий момент от действия внешней нагрузки.

M_z – внутренний изгибающий момент, определяемый в зависимости от расчетного случая по формуле (8) или (10).

Список библиографических ссылок

1. Мирсяпов И.Т., Абдрахманов И.С. Деревожелезобетонные конструкции при реконструкции исторических городов // Проблемы реконструкции и возрождения

- исторических городов. Материалы Российского научно-практического семинара. – Казань, 1999. – С. 8-21.
2. Абдрахманов И.С. Вопросы безопасности при реконструкции и реставрации архитектурных памятников // Журнал ПГС, 2009, № 2. – С. 48-50.
 3. Пат. № 133549 Российская Федерация. Сборно-монолитное перекрытие / Замалиев Ф.С., Шаймарданов Р.И., Замалиев Э.Ф.; заявитель и патентообладатель Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Замалиев Фарит Сахапович. № 2913119949/03; заяв. 29.04.2013; опубл. 20.10.2013, бюл. № 29. – 2 с.
 4. Румянцева И.А., Айрумян Э.Л. Сталежелезобетонные конструкции междуэтажных перекрытий // Современное строительство. – М.: ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2007. – С. 282-285.
 5. Айрумян Э.Л., Каменщиков Н.И., Румянцева И.А. Особенности расчета монолитных плит сталежелезобетонных перекрытий по профилированному стальному настилу // Журнал ПГС, 2015, № 9. – С. 21-29.
 6. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом. – М.: «Стройиздат», 1987 – 40 с.
 7. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1.1: General Rules and Rules for buildings. CEN, 2003. – 224 p.
 8. Мирсаяпов И.Т., Замалиев Ф.С., Замалиев Э.Ф. Учет податливости контакта слоев при расчетах прочности и малоцикловой выносливости сталежелезобетонных элементов // Известия КГАСУ, 2010, № 2 (14). – С. 126-133.
 9. Замалиев Ф.С. Учет нелинейных свойств материалов и податливости слоев при расчете прочности сталежелезобетонных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство, 2013, № 5. – С. 38-41.
 10. Salmon Ch.G. Handbook of composite construction Engineering // Ch. 2: Composite steel-concrete construction. – New York, 1982. – P. 41-79.

Zamaliyev F.S. – candidate of technical science, associate professor

E-mail: zamaliyev49@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Calculation of steel-reinforced concrete slabs with steel profiled decking

Resume

Analyzed national experience of recovery floors of old buildings, which are mainly monuments. It was stressed that the earlier the overlap in our country is carried out mainly in wooden form. Today, after a lifetime, they either lost the carrying capacity, or supervisory authorities require their replacement with safer designs in terms of their fire resistance. Composite structures are most suitable from the point of replacing the light beams on fire safety and reliability. The article deals with the composite slab based on the steel sheeting. Analyzed the existing design rules and calculation methods for composite slabs with steel floorings. The method of calculation, based on the calculation model reflects the actual work of composite structure diagrams, and taking into account the real strain and stress.

We consider two types of cross-sections calculated on the basis of the best possible options for the structural elements of restored ceilings. Given an expression to determine the boundaries of the compressed composite sectional area by taking into account the compliance of contact between the steel beam and slab (concrete + steel decking). The formulas for determining the torque of the internal state of a flexible composite element, write the condition of strength calculation section.

The use of advanced methods of calculation of composite slabs with steel decking will facilitate the introduction of these constructs into the practice of reconstruction and new construction.

Keywords: steel-concrete composite slab, steel decking, method of calculation, deformation model.

Reference list

1. Mirsayapov I.T., Abdrakhmanov I.S. Wood-steel-concrete design the reconstruction of historic cities // Problems of reconstruction and revitalization of historic cities // Proceedings of Russian scientific-practical seminar. – Kazan, 1999. – P. 8-21.
2. Abdrakhmanov I.S. Security issues in the reconstruction and restoration of architectural monuments // PGS Journal, 2009, № 2. – P. 48-50.
3. Pat. № 133549 Russian Federation. Prefabricated monolithic slab / Zamaliev F.S., Shaimardanov R.I., Zamaliev E.F.; the applicant and the patentee Kazan State Architectural University, Zamaliev Farid Sahapovich. № 2913119949 / 03; appl. 04/29/2013; publ. 20.10.2013, Bull. № 29. – 2 p.
4. Romyantseva I.A., Hayrumyan E.L. Composite structures intermediate floors // Modern building. – M.: GUP «ITC Moscomarchitecture», 2007. – P. 282-285;
5. Hayrumyan E.L., Kamenschikov N.I. Romyantseva I.A. Features of the calculation of monolithic slabs of composite slabs profiled steel decking // PGS Journal, 2015, № 9. – P. 21-29.
6. Recommendations for the design of monolithic concrete floors with steel profiled decking. – M.: «Stroyizdat», 1987. – 40 p.
7. Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for buildings. CEN, 2003. – 224 p.
8. Mirsayapov I.T., Zamaliev F.S., Zamaliev E.F. Accounting compliance contact layers in the calculations of strength and low-cycle endurance of composite elements // Izvestia KGASU, 2010, № 2 (14). – P. 126-133.
9. Zamaliev F.S. Accounting for non-linear properties of the materials and pliability of the layers in the calculation of the strength of composite slabs // Industrial and civil construction, 2013, № 5. – P. 38-41.
10. Salmon Ch.G. Handbook of composite construction Engineering // Ch. 2: Composite steel-concrete construction. – New York, 1982. – P. 41-79.